Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 267-284

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۸۴-۲۶۷

مقاله پژوهشی

بررسی سیستم ریشه‌ای ارقام مختلف جو زراعی تحت کاربرد منابع کودی در شرایط دیم

رحیم ناصری[۱*]- امیر میرزایی[۲]- امین عباسی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹

چکیده

کودهای زیستی بدلیل محلول نمودن فسفات‌های تثبیت شده و در اختیار گذاشتن عناصرغذایی جهت رشد گیاه در خاک، نقش مهمی در حاصلخیزی خاک دارند، قارچ میکوریزا از جمله مهمترین ریزسازواره‌های مفید خاکزی بشمار می‌آید، به همین منظور جهت ارزیابی و نقش تلقیح با قارچ میکوریزا روی سیستم ریشه ارقام جو دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله واقع در شهرستان چرداول در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*)، مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر قابل توصیه بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش رقم و منابع کودی بر خصوصیات ریشه‌ای جو دیم معنی‌دار بود، به طوری‌که بیشترین طول ریشه (افزایش ۷۶/۶ درصدی)، حجم ریشه (افزایش ۷۵/۷ درصدی)، سطح ریشه (افزایش ۷۳/۳ درصدی)، تراکم طول ریشه (افزایش ۷۶/۸ درصدی)، تراکم بافت ریشه (افزایش ۸۹/۹ درصدی)، حجم مخصوص ریشه (افزایش ۶۵/۷ درصدی) و چگالی سطح ریشه (افزایش ۷۰/۶ درصدی) در رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد. بنابراین در بین ارقام مورد استفاده رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر می‌تواند موجب توسعه سیستم ریشه‌ای و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه تحت شرایط دیم گردد.

واژه‌های کلیدی: تراکم بافت ریشه، تراکم طول ریشه، چگالی سطح ریشه، حجم مخصوص ریشه، قطر ریشه

مقدمه

بایستی توجه کرد که در شرایط کم‌آبی با مدیریت صحیح منابع در حضور کودهای زیستی علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی ، افزایش فعالیت سیستم‌های دفاعی گیاه و غنی‌سازی محصولات زراعی می‌توان گامی اساسی در راستای ایجاد کشاورزی پایدار برداشت (۵۴). کودهای زیستی نقش مهمی در باروری و حاصلخیزی خاک بواسطه محلول نمودن فسفات‌های تثبیت شده و تولید عناصرغذایی مورد نیاز برای رشد گیاه در خاک، دارد. از مهمترین ریزموجودات مفید خاکزی، به قارچ میکوریزا می‌توان اشاره نمود، قارچ میکوریزا با دارابودن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارآیی گیاه را در جذب آب و عناصر غذایی به خصوص عناصر کم‌تحرک مثل فسفر، روی و مس را افزایش داده و سبب بهبود رشد گیاه میزان می‌شود. همچنین، این قارچ با تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا افزایش داده و سبب بهبود ساختمان خاک از طریق اتصال ذرات خاک به یکدیگر می‌گردد (۶). قارچ میکوریزا بر تعادل آبی گیاه تاثیر گذار می‌باشد (۵). نتایج سایر محققین نیز نشان داد که اصلاح روابط آبی به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق، اثرات هورمونی و تعادل هورمونی، افزایش سریع جذب آب و رساندن پتانسیل گیاه به حد تعادل، جذب بیشتر آب به واسطه هیف‌ها و خاکدانه‌سازی تحت تأثیر گیاه بوسیله قارچ میکوریزا قرار می‌گیرد (۳۱). همزیستی با قارچ میکوریزا منجر به ایجاد تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه میزبان می‌شود و بر آبگیری بافت و فعالیت‌های فیزیولوژیک برگ تأثیر (۵) و

۱- گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی‌مهندسی و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

DOI: 10.22067/jsw.2021.15046.0

می‌تواند سطح جذب ریشه‌ها را حدود ۴۷ برابر زیاد کند (۶۲). با توجه به اهمیت و نقش گسترش مناسب سیستم ریشه در گیاه، به ویژه‌ای در شرایط دیم از یک طرف و نقش ریشه در جذب آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طرفی دیگر، سیستم ریشه از عوامل تاثیرگذار در تولید عملکرد جو و محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای در برخوردار می‌باشد (۱۵). قارچ‌های میکوریزدر گیاه میزبان با جذب کارآمدتر آب سبب باز نگه داشتن روزنه‌ها و افزایش در هدایت روزنه‌ای گیاه می‌شوند، این ارتباط آب با گیاه میزبان توسط قارچ میکوریزا را به واسطه افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، کم‌شدن مقاومت روزنه‌ای نسبت داده‌اند (۵۴). در گزارش‌های محمد و همکاران (۳۸) روی گندم نشان دادند که قارچ میکوریزا سبب افزایش طول ریشه می‌شود. اصلاح روابط آبی گیاه توسط قارچ‌های میکوریز می‌تواند به علت افزایش توان جذب آب و بهبود هدایت روزنه‌ای، جذب بیشتر آب به وسیله هیف‌ها، افزایش جذب آب و به حداکثر رساندن سریع پتانسیل گیاه به حد تعادل و ساخت خاکدانه‌ها باشد (۱۴). قارچ میکوریزا به دلیل تحریک تشکیل ریشه و به دنبال آن افزایش سطح ریشه از طریق تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین، موجب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (۵۶). اثر اصلی قارچ میکوریز کاهش مقاومت انتقال آب در ریشه‌هاست که ناشی از وجود هیف‌ها در کورتکس ریشه و افزایش سطح جذب کنندهٔ آب به واسطه رشد هیف می‌باشد (۳۳). با توجه به نقش مهم و کلیدی ریشه در رشد و نمو گیاهان زراعی بخصوص در زراعت دیم به دلیل وابستگی رشد این گیاهان به بارندگی، داشتن اطلاعات کافی و بررسی شناخت خصوصیات موفولوژیکی ریشه کمک مهمی به محققین و کشاورزان در جهت بهره برداری بیشتر در محصولات زراعی بخصوص جو خواهد نمود، بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی نقش سیستم ریشه در حضور قارچ میکوریزا در ارقام جدید جو در منطقه ایلام در شرایط دیم به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل: شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر، مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر بودند. در این پژوهش طول ردیف در هر کرت چهار متر، فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و بین تکرارها نیز فاصله دو متر انتخاب شد. قارج میکوریزا مورد استفاده در این پژوهش از موسسه خاک و آب کرج تهیه گردید. بذور جو با این قارچ که هر گرم آن دارای ۷۰ اسپور زنده بود، آغشته شد و بعد آماده‌شدن زمین، بذور تلقیح شده با قارچ با خاک پوشانده شدند. آمار هواشناسی در طرح پژوهشی در جدول ۱ ارائه شده است. کود نیتروژن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) و کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید (جدول ۲).

جدول ۱- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 1- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

Month	ماه	حداقل دما Min temp (°C)	حداکثر دما Max temp (°C)	میزان بارش Precipitation (mm)	حداقل رطوبت Min. RH (%)	حداکثر رطوبت Max RH (%)
Oct.	مهرماه	13.2	37.2	15	18	41
Nov.	آبان	0.8	27.2	44.6	33	73
Dec.	آذر	0.2	19.6	134.4	53	83
Jan.	دی	-2	16.4	37.4	47	84
Feb.	بهمن	-8.5	19.5	60.3	43	79
Mar.	اسفند	1.7	24.8	267.1	47	84
Apr.	فروردین	2.6	26.6	33.5	40	80
May	اردیبهشت	4.8	36.5	11.3	24	64
Jun.	خرداد	16	39.7	0	12	31

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۹۹-۱۳۹۸
Table 2- Soil physical and chemical properties of experimental area

بافت خاک	Soil texture	رسی‌لومی	Clay loam
اسیدیته	pH		7.1
شوری	EC	($dS\ m^{-1}$)	0.40
کربن آلی	Organic Carbon	(%)	1.5
نیتروژن	Total N	(%)	0.13
فسفر	Available P	($mg\ kg^{-1}$)	6
پتاسیم	Available K	($mg\ kg^{-1}$)	280
منیزیم	Mg	($mg\ kg^{-1}$)	216
منگنز	Mn	($mg\ kg^{-1}$)	12
مس	Cu	($mg\ kg^{-1}$)	5.2
روی	Zn	($mg\ kg^{-1}$)	1.4
آهن	Fe	($mg\ kg^{-1}$)	10

جهت اندازه‌گیری صفات مرتبط با ریشه (وزن تر و خشک ریشه، مجموع طول ریشه و حجم ریشه) در داخل مزرعه در مرحله گرده‌افشانی از استوانه‌ای فلزی (شبیه به اوگر نمونه‌برداری خاک) که به صورت دستی طراحی و الگو برداری شده بود، استفاده گردید. استوانه فلزی مورد استفاده در این پژوهش دارای ۳۰ سانتی‌متر طول و دو سانتی‌متر قطر بود. جهت نمونه‌گیری ریشه داخل خاک، استوانه را تا عمق مورد در خاک فرو برده، سپس ریشه‌ها در ظرف یکبار مصرف گذاشته و پس از اتمام نمونه‌گیری به آزمایشگاه منتقل و اقدام به شستشوی آن‌ها و در داخل یخچال نگهداری نگهداری شدند. پس از شستشوی ریشه و انتقال ریشه‌ها به داخل آزمایشگاه وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن گردید (۳). طول ریشه‌ها پس از قرار دادن در آب جهت شناورشدن آن‌ها توسط خط‌کش با دقت زیاد اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری پارمترهای مربوط به ریشه، ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گذاشته سپس توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شدند.

محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق رابطه زیر انجام گرفت:

$$A = B - C$$

A= حجم ریشه، B= حجم آب و ریشه، C= حجم آب خالی

سطح ریشه که از فرمول زیر محاسبه شد (۳ و ۵۸):

$$RA = 2 \times SQRT\langle RV \times 3.14 \times RL \rangle$$

RA[1]= سطح ریشه، RV[2]= حجم ریشه، RL[3]= طول ریشه، SQRT= ریشه دوم

شادابی ریشه از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (۱۹):

$$RF = \frac{RL}{RFW}$$

RF[4]= شادابی ریشه، RL= طول ریشه، RFW[5]= وزن تر ریشه

قطر ریشه که طریق محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (۱۹ و ۵۵):

$$RD = \left(4 \times FRW \big/ (RL \times 3.14)\right)^{1/2}$$

RD[6]= قطر ریشه، FRW= وزن تر ریشه، RL= طول ریشه

طول مخصوص ریشه که محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (۲۴ و ۳۲):

$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

SRL[7]= طول مخصوص ریشه، RL= طول ریشه، DRW[8]= وزن خشک ریشه

طریقه محاسبه محتوای آب ریشه به صورت زیر صورت گرفت (۲۲ و ۳۰):

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

RWC[9]= محتوای آب ریشه، RFW= وزن تر ریشه، DRW=

1- Root Area
2- Root volume
3- Root length
4- Root fineness
5- Fresh root weight
6- Root diameter
7- Special root length
8- Dry root weight
9- Root water content

وزن خشک ریشه

تراکم طول ریشه از طریق رابطه زیر بدست آمد (۳۲ و ۳۴):

$$RLD = \frac{RL}{SV}$$

RLD[1]= تراکم طول ریشه، RL= طول ریشه، SV[2]= حجم خاک

حجم مخصوص ریشه از طریق رابطه زیر بدست آمد (۲۲):

$$SRM = \frac{RDW}{SV}$$

SRM[3]= حجم مخصوص ریشه،DRW= وزن خشک ریشه ،SV= حجم خاک

طریقه محاسبه تراکم بافت ریشه به صورت زیر انجام گرفت (۴۹):

$$RTD = RDW \times RV$$

RTD[4]= تراکم بافت ریشه، DRW= وزن خشک ریشه،RV= حجم ریشه

طریقه محاسبه تراکم حجم ریشه به صورت زیر انجام گرفت (۱۹):

$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

RMD[5]= تراکم حجم ریشه، FRW= وزن تر ریشه، SV= حجم خاک

طریقه محاسبه چگالی سطح ریشه به صورت زیر انجام گرفت (۳):

$$RSAD = RL \times RD \times 3.14$$

RSAD[6]= چگالی سطح ریشه، RL= طول ریشه، RD= قطر ریشه.

اندازه‌گیری عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتها) برای هرکرت انجام شد. تجزیه آماری داده‌های این طرح پژوهشی بوسیله نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و ترسیم شکل‌ها توسط نرم‌افزار اکسل صورت گرفتند.

1- Root length density
2- Soil volume
3- Special root mass
4- Root tissue density
5- Root mass density
6- Root surface area density

نتایج و بحث

خصوصیات سیستم ریشه‌ای

وزن ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی رقم و ترکیب کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر وزن ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). در این پژوهش نشان داده‌شد که رقم فردان دارای بیشترین وزن ریشه و کمترین وزن ریشه در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش وزن ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان وزن بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا با افزایش ساخت فیتوهورمون‌ها به ویژه اکسین در پیرامون ریشه می‌شوند که این هورمون در توسعه سیستم ریشه و نگهداری آن ایفای نقش نماید (۴۸). در مطالعه‌ای روی گیاه زراعی ماش مشاهده شد که تلقیح هم‌زمان گیاه با قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شد. این موضوع می‌تواند به دلیل اثرات هم‌افزایی قارچ میکوریزا روی رشد ریشه باشد (۹). افزایش وزن خشک ریشه‌ها به دلیل نقش قارچ میکوریزا در تحریک ترشح هورمون‌ها و افزایش جذب فسفر توسط گیاه و با توجه به نقش اکسین در تحریک ریشه‌های نابجا و همچنین نقش عنصر غذایی فسفر در بهبود ریشه‌زایی در گیاهان می‌تواند باشد (۶۴). سادات و همکاران (۵۲) در آزمایش‌های خود بر گندم نشان دادند استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه می‌شود. در گزارشات مختلف بیان شده است که تغییرات ژنتیکی معنی‌داری بین ارقام از نظر وزن خشک ریشه وجود دارد (۴۱)، اما مطالعات زیادی نیز وجود دارند که تأکید می‌نمایند صفات مربوط به ریشه به‌شدت تحت تأثیر محیط و عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرند (۴۷). سایر تحقیقات انجام شده روی گندم نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌داری در وزن ریشه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) گردید (۲۷ و ۵۹). قارچ میکوریزا از طریق تغذیه مناسب سبب افزایش وزن خشک ریشه شده به طوری‌که قارچ میکوریزا از طریق میسیلیوم‌های خود عناصر غذایی را در فاصله دورتری نسبت به ریشه‌های گیاه میزبان جذب که نتیجه آن افزایش وزن ریشه خواهد بود (۲۶ و ۶۷). خلوتی و همکاران (۲۷) در آزمایش‌های خود روی گندم نیز افزایش وزن خشک ریشه در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (غیر میکوریزایی) نشان دادند. در گزارش‌های دیگر پژوهشگران نیز نشان داده شده است که قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه و زیست توده ریشه گردید (۴۵ و ۶۶).

مجموع طول ریشه

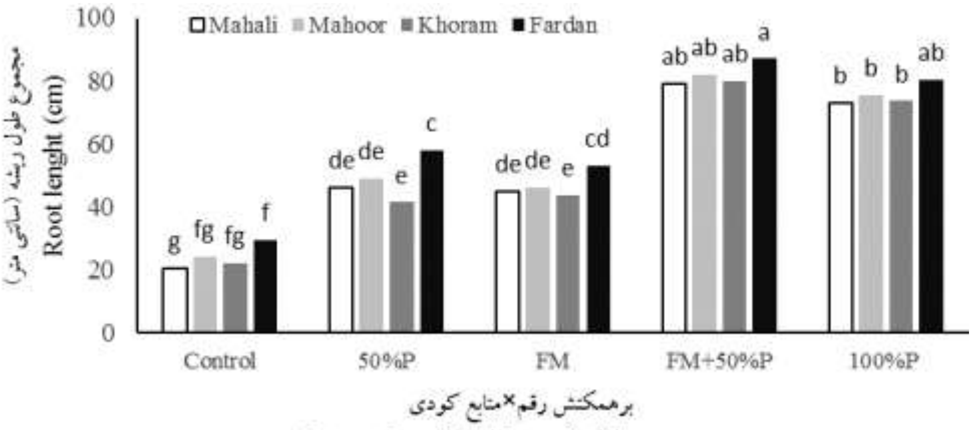
اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر مجموع طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین طول ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین طول ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۶/۶ درصدی در طول ریشه گردید (شکل ۱). قارچ میکوریزا از طریق تغییر در ساختار مورفولوژیکی ریشه و همچنین افزایش طول ریشه سبب جذب آسان‌تر آب می‌گردد (۱۳). در تحقیقات دیویس و همکاران (۱۲) مشاهده شد که تلقیح بذر با قارچ میکوریزا موجب افزایش طول ریشه در فلفل شد. طول ریشه به‌عنوان مهمترین پارامتر در روند رشد گیاه استفاده گردد، محققین با این باورند که طول ریشه به عنوان مهمترین پارامتر جهت سنجش دوره رشد گیاه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت جهت ارزیابی آب خاک و جذب عناصر توسط گیاه می‌باشد (۲۸). ریشه‌های گسترده و طویل به واسطه زیادشدن جذب رطوبت و به دنبال آن افزایش در میزان تعرق، در افزایش عملکرد دانه (جدول ۵) موثر است (۴۲). در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شده است که قارچ میکوریزا روی رشد ریشه گندم دارای تأثیر معنی‌داری بوده، در پژوهش‌های این پژوهشگران قارچ میکوریزا سبب افزایش طول ریشه گردید (۱۰ و ۶۹).

روسو و همکاران (۵۱) اعلام کردند تلقیح بذور ذرت و گندم با قارچ میکوریزا باعث افزایش عمق نفوذ و حجم ریشه می‌شود، به نظر می‌رسد حضور قارچ میکوریزا باعث تغییراتی در ریخت‌شناسی ریشه شده به نحوی که انتشار میسیلیوم‌های قارچ میکوریزا مرتبط با بافت‌های درونی ریشه باعث افزایش طول ریشه شد.

مانسک و همکاران (۳۶) بذرهای مختلف گندم را با قارچ میکوریزا تلقیح نمودند، نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا با تولید انواع هورمون‌های گیاهی، رشد طولی و تراکم رشد ریشه‌های گندم را افزایش داده و میزان آلودگی ریشه‌های گندم را به قارچ میکوریزا در همه رقم‌ها به طور قابل مشاهده‌ای افزایش داد. نشان داده شده است که قارچ میکوریزا از طریق تغییر در ساختار ریشه و افزایش طول ریشه موجب بهبود جذب آب می‌گردد (۳۶). مزایای تلقیح گیاه با کود زیستی شامل افزایش شاخص‌های متعددی مانند رشد ریشه، میزان تولید در واحد سطح، وزن اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، همچنین کنترل زیستی عوامل بیماری‌زا، مقاومت به خشکی و افزایش فعالیت میکروبی می‌باشد (۳۱).

طول مخصوص ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر طول مخصوص ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین طول مخصوص ریشه و کمترین طول مخصوص ریشه در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش طول مخصوص ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول ۴).



شکل ۱- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر مجموع طول ریشه

Figure 1- Interaction of cultivar×fertilizer sources on root length

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات ریشه‌ای تحت کاربرد کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا در ارقام جو دیم

Table 3- Analysis of variance (mean squares) for root traits under application of phosphours fertilizer and mycorrhizl fungi in dry land barley cultivars

منابع تغییر	S.O.V.	درجه آزادی d.f	مجموع طول ریشه Root length	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	حجم ریشه Root volume	سطح ریشه Root area	شادابی ریشه Root fineness	قطر ریشه Root diameter
تکرار	Replication	2	619.3	6.6	0.44	4.6	747.8	1.4	0.0056
رقم	Cultivar	3	262.1**	14.6**	0.55**	12.01**	590.8**	10.1**	0.0018
منابع کودی	Fertilizer sources	4	6649.4**	62.8**	9.1**	94.3**	10072.9**	18.1**	0.031**
برهمکنش رقم × منابع کودی	Cultivar × Fertilizer sources	12	142.2**	0.35	0.04	1.5**	49.9*	0.32	0.0031*
خطا	Error	38	25.5	0.69	0.04	0.43	21.6	0.73	0.0013
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	9.1	9.4	7.7	7.7	6.08	14.1	7.8

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

Table 3- Continued

ادامه جدول ۳-

منابع تغییر	S.O.V.	درجه آزادی d.f	طول مخصوص ریشه Specific root length	آب ریشه Root water	تراکم طول ریشه Root length density	حجم مخصوص ریشه Specific root mass	تراکم بافت ریشه Root tissue density	چگالی سطح ریشه Root surface area density	عملکرد دانه Grain yield
تکرار	Replication	2	32.6	6.8	0.0021	0.0000015	136.9	927.7	2871850.7
رقم	Cultivar	3	29.2**	15.05**	0.00089**	0.0000019**	212.6**	791.9**	3148800.08**
منابع کودی	Fertilizer sources	4	76.4**	61.5**	0.022**	0.000031**	2523.1**	8657.9**	9799611.6**
برهمکنش رقم × منابع کودی	Cultivar × Fertilizer sources	12	2.5	0.35	0.00049**	0.0000014**	35.9**	193.3**	342748.1*
خطا	Error	38	2.5	0.74	0.000087	0.00000015	5.9	30.3	140705.4
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	7.8	10.08	9.1	7.7	9.9	7.05	15.4

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٤- مقایسه ساده صفات مربوط به ریشه تحت تاثیر رقم و منابع کودی در شرایط دیم

Table 4- Simple comparison of root traits related by affected cultivar and fertilizer source under dryand conditions

		وزن تر ریشه Fresh root weight (g)	وزن خشک ریشه Dry root weight (g)	شادابی ریشه Root fineness (cm root /root fresh weight)	آب ریشه Root water (g)	طول مخصوص ریشه root Specific lenght (cm root lenght/ cm^3 soil volume)
رقم	Cultivar					
محلی	Mahali	8.002c	2.4c	5.7b	7.7c	16.9d
ماهور	Mahoor	9.1b	2.6b	6.2a	8.8b	20.5b
خرم	Khoram	8.07c	2.5bc	5.9b	7.7c	18.7c
فردان	Fardan	10a	2.9a	6.2a	9.8a	22.6a
منابع کودی	fertilizer sources					
شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)	Control	5.4d	1.4d	4.4c	5.1d	16.4c
۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر	50%P	8.4c	2.4c	5.7b	8.1c	19.9b
قارچ میکوریزا	FM	8.3c	2.3c	5.5b	8.1c	19.7c
مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر	FM+50%P	11.3a	3.6a	7.3a	11.05a	22.7a
۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر	100%P	10.4b	3.3b	7.2a	10.1b	22.2a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

تلقیح گیاه دارویی بادرشبو با میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش جذب پتاسیم و افزایش غلظت این عنصر در گیاه شد که شاید این مسأله به اثرات مفیدی که این میکروارگانیسم‌ها بر افزایش تراکم طول ریشه‌های موئین و سطح جذبی ریشه گیاه دارند، مرتبط باشد (۵۰). در این زمینه، ویژگی‌های متفاوتی از ریشه مورد مطالعه قرار گرفته‌است، برخی معتقدند که در مطالعه ریشه اندازه‌گیری تراکم و طول ریشه‌های بذری و گره‌ای بهتر از اندازه‌گیری توزیع وزن ریشه در خاک است، زیرا که طول ریشه‌ها تعیین‌کننده وضعیت جذب آب و عناصر غذایی از لایه‌های زیرین نیمرخ خاک می‌باشد که این ویژگی در شرایط دیم حائز اهمیت است (۳۹). علاوه بر طول ریشه، طول مخصوص ریشه (نسبت طول ریشه به جرم آن) نیز از صفات مهم در نشان دادن کارایی ریشه در جذب آب و مقاومت به کم‌آبی بشمار می‌آید (۸).

حجم ریشه

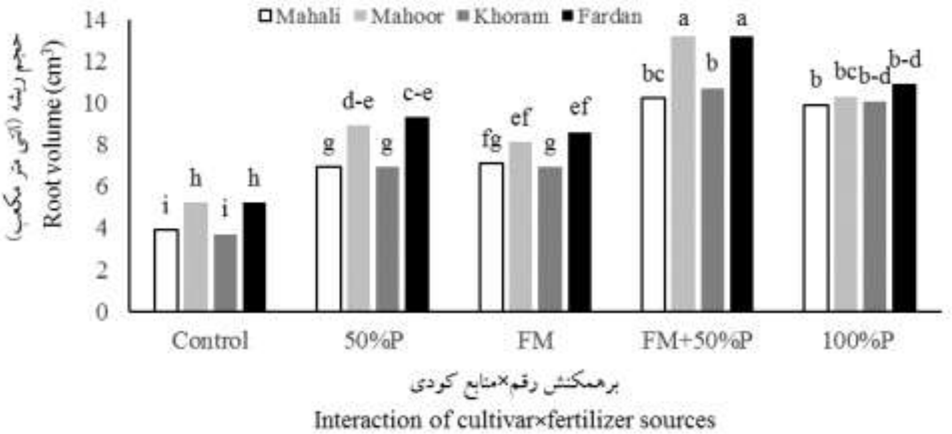
اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر حجم ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین حجم ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین حجم ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد بدست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۷۵/۷ درصدی حجم ریشه گردید (شکل ۲).

حجم ریشه‌ای از مهمترین صفات و معیاری برای جذب آب و املاح غذایی بوده و یک واحد اندازه‌گیری مناسبی در روابط بین قسمت‌های هوایی و ریشه گیاه محسوب می‌گردد (۱۸ و ۱۹). در این پژوهش نشان داده‌شد بین ارقام مختلف جو تفاوت زیادی وجود دارد، به نظر می‌آید رقم فردان از سرعت اولیه ریشه بیشتری برخوردار است، به عبارت دیگر گیاه برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد (۴۱). در نتیجه تغییراتی درخصوصیات مورفولوژیک ریشه‌ها مانند افزایش حجم ریشه می‌شود. ساجدی و رجالی (۵۳) در گزارش‌های خود عنوان داشتند که تلقیح با قارچ میکوریزا سبب توسعه سیستم گیاه میزبان شده و این امر سبب زیادشدن سطح جذب ریشه‌ها به دلیل نفوذ ریسه‌های قارچ میکوریزا در خاک بوده که نهایتاً ریشه حجم بیشتری از خاک را اشغال و موجب افزایش جذب آب، عناصر غذایی می‌گردد. در سایر پژوهش‌های صورت گرفته روی جو و جوالدوزک نیز نشان داده شده است که قارچ میکوریزا روی رشد ریشه دارای اثر مثبت بوده، به‌طوری که قارچ میکوریزا سبب افزایش حجم ریشه گردید (۵۷ و ۶۹).

سطح ریشه

اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر سطح ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین سطح ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین سطح ریشه از رقم محلی و با افزایش ۷۳/۳ درصدی نسبت به شاهد شاهد بدست آمد (جدول ۵).

افزایش سطح ریشه توسط قارچ میکوریزا را به واسطه ایجاد هیف و افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه میزبان عنوان نموده‌اند، قارچ‌های میکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان می‌شوند. علاوه بر این به علت تأثیر قارچ میکوریزا روی هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان تلقیح نشده با میکوریز بیش‌تر می‌باشد، این قارچ ها با کاهش مقاومت انتقال آب به ریشه‌ها و وجود هیف‌های قارچ در ناحیه کورتکس ریشه جذب آب توسط گیاه را تسریع نموده و با جذب بیش‌تر آب باعث افزایش هدایت روزنه‌ای می شوند.



شکل ۲- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم ریشه

Figure 2- Interaction of cultivar×fertilizer sources on root volume

علاوه بر این، قارچ های میکوریز با جـذب کارآمـد آب کـم‌تـر در معرض تنش رطوبتی قرار گرفته و روزنه‌های خود را باز نگه داشـته و هدایت روزنـه‌ای گیـاه را افـزایش مـی دهنـد (۱۴). در تیمـار کـاربرد قارچ‌های میکوریزا بـا افـزایش پتانسـیل آب بـرگ، افـزایش سـرعت مصرف دی‌اکسیدکربن، افزایش میزان جـذب آب و نیـز گسـترش و تغییر ساختار مورفولوژی ریشه گیاه، افزایش سطح جذب ریشه و انتقال مواد غذایی به ریشه (۲۵) این امکان را به گیـاه میـزان مـی‌دهـد کـه بتواند شرایط کم‌آبی را بهتر تحمل کند. گیاهانی که طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های جانبی، تراکم طول ریشه و نسبت ریشه به قسمت‌های هوایی بالاتری دارند در مقابل کم‌آبی تحمل بـالاتری نیـز دارنـد (۶۱). تلقیح قارچ میکوریزا باعث تغییرات مورفولوژیک ریشه می‌شود. عـلاوه بر آن باعث افزایش مقدار عناصـر روی و فسـفر قابـل دسـترس گیـاه می‌گردد و این تغییرات باعث می‌شود که اثر فسفر افزایش یابـد (۶۶). همزیستی میکوریزایی اغلب منجر ایجاد تغییراتی در سـرعت حرکـت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه میزبان می‌گردد و بر آبگیری بافت و فعالیت‌های فیزیولوژیک برگ تأثیر گذاشته و می‌تواند سـطح جـذب ریشه را حدود ۴۷ برابر افزایش دهد (۷۰). قارچ میکـوریزا بـا تشـکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خـاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیـب گیـاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می کند (۶۰).

در گزارش‌های سایر محققین روی جو و جوالدوزک نیز گـزارش شد که تلقیح بذر با قارچ میکوریزا در گیـاه میزبـان روی رشـد ریشـه دارای اثر مثبت بوده و کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش سطح ریشه گردید (۱۱ و ۶۹). تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا سبب بوجود آمدن یـک سری تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خـارج گیـاه شده و بر آبگیری‌بافت و کارکردهای‌فیزیولوژیکی برگ اثر داشته (۵) که این افزایش سطح جذب ریشه‌هـا مـی‌توانـد کـارآیی جـذب آب و عناصر را که در مناطق دورتر ریشه وجود دارنـد را بـا افـزایش طـول ریشه و در نهایت افزایش سطح ریشه فراهم آورد، زیاد نماید (۲ و ۴).

شادابی ریشه (ظرافت ریشه)

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کـود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر شادابی ریشه معنی‌دار گردید (جـدول ۳). در این پژوهش نشان داده شـد کـه رقـم فـردان دارای بیشـترین شادابی ریشه بود و کمترین شـادابی ریشـه در رقـم محلـی مشـاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که در تیمار مصـرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسـفر موجـب افـزایش شادابی ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول ۴). در واقع صـفت شادابی طراوت و ظرافت ریشه در داخل خاک را نشان می‌دهد، هر چه این ظرافت ریشه بیشتر باشد نشان‌دهنده نازک بودن ریشه بوده (۱۹) که به نظر می‌رسد می‌توانـد در جـذب آب و امـلاح نقـش مـوثرتری داشته باشد. در سایر گزارش‌نیز نشان داده که استفاده از کـود زیسـتی روی خصوصیات ریشه تاثیرگذار بوده، به‌طـوری‌کـه اسـتفاده از قـارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش شادابی ریشه در گندم شد (۴۴).

قطر ریشه

اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمـال یـک درصد بر قطر ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین قطر ریشـه از رقم محلی و در تیمار شاهد و کمترین میزان قطر ریشه از رقم فـردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر بدسـت آمد، که نسبت به شاهد) موجب افزایش ۲۷/۲ درصدی در قطر ریشـه مشاهده شد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد می‌توان دلیل کاهش قطر ریشه با مصرف کود زیستی را مربوط به افزایش طول ریشه مربـوط دانسـت (۲۶).

بانرجی و همکاران (۷) و وسی و باس (۶۸) افزایش حجم ریشـه در غلات را به دلیل تلقیح بذر با کود زیستی را گزارش نمودنـد. آن‌هـا اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم کننده رشد تولید شده به وسیله کـود زیستی بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می‌کند کـه مهمتـرین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه، کاهش ضخامت ریشه و افزایش تارهای مویین سطح ریشه می‌باشند. اندازه قطر هیـف‌هـا کـوچکتر از اندازه قطر ریشه‌ها است، این ویژگی به گیاه میزبان امکـان دسترسـی به منافذ خاک بسیار کوچک را می‌دهد که با خشک‌شدن خـاک آب و مواد مغذی را در خود نگه می‌دارند. هیف در مناطقه ریشه گیاه میزبان قادر است که مواد غذایی و رطوبت که از اطرف ریشه گیاه دور هستند را به طور گستره تخلیه نمایند و به نوبه خود ممکن است باعث رشـد متراکم ریشـه شـود (۳۷ و ۶۳). کـاهش قطـر ریشـه در تیمـار قـارچ میکوریزا در تحقیقات سایر محققین روی جوالدوزک نیز گزارش شـده است (۶۹).

جدول ۵- مقایسه برهمکنش رقم × منابع کودی بر صفات مربوط به ریشه تحت شرایط دیم

Table 5- Interaction comparsion of cultivar× fertilizer sources on root traits related under dryand conditions

Cultivar	fertilizer sources	سطح ریشه Rot area (cm^2)	قطر ریشه Root diameter (cm)	تراکم طول ریشه Root length density (cm RL/cm^3 soil volume)	تراکم بافت ریشه Root tissue density (g root weght /cm^3 soil volume)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
محلی Mahali	Control	31.6h	0.55a	0.037g	5.3g	876.9i
	50%P	63.3ef	0.45e-j	0.085de	15.5f	1402.6hi
	FM	63.3ef	0.5c-j	0.083de	15.7f	1635.8gh
	FM+50%P	100.6b	0.43ij	0.14ab	33.3d	2632.06c-f
	100%P	100.79b	0.42g-j	0.13b	36.03cd	2548.04c-f
ماهور Mahour	Control	39.7gh	0.54ab	0.044fg	7.3g	1234.6hi
	50%P	75.48cd	0.49a-f	0.09de	23.8e	2971.9c-f
	FM	70.31de	0.47a-d	0.085de	20.4e	2489.06d-f
	FM+50%P	115.4a	0.4e-j	0.15ab	47.8b	3783.9ab
	100%P	97.19b	0.41f-j	0.13ab	34.04d	2784.1c-f
خرم Khorram	Control	32.11h	0.53a-d	0.04fg	5.3g	854.8i
	50%P	58.74f	0.47b-h	0.076e	14.25f	2095.2fg
	FM	61.33f	0.48b-j	0.08e	15.64f	2271.7e-g
	FM+50%P	104.99b	0.43e-j	0.14ab	39.05c	3338.9bc
	100%P	96.84b	0.42i-j	0.13ab	33.52d	3106.4cd
فردان Fardan	Control	43.92g	0.53a-c	0.054f	8.6g	1216.4hi
	50%P	80.63c	0.46c-j	0.107c	24.7e	2999.2cd
	FM	73.77de	0.46c-j	0.098cd	21.2e	2630.6c-f
	FM+50%P	120.49a	0.4ij	0.16a	52.6a	4238.3a
	100%P	100.81b	0.41f-j	0.14ab	36.4cd	3290.9bc

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

آب ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر آب ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین آب ریشه بود و کمترین آب ریشه در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که در تیمار مصرف توآم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش آب ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول ۴). در گزارش‌های ناصری و همکاران (۴۱) نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا دارای اثر معنی‌داری روی جذب آب توسط هیف‌های خود دارد در داخل خاک شده به طوری که سبب افزایش محتوای آب ریشه در گیاه گندم شد. افزایش جذب آب در گیاهان تحت تیمار قارچ میکوریزا به هدایت هیدرولیکی ریشه در شرایط تلقیح در ارتباط است (۳۳).

تراکم طول ریشه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر تراکم طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین تراکم طول ریشه از رقم فردان با مصرف توآم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین تراکم طول ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۶/۸ درصدی در تراکم طول ریشه گردید (جدول ۵).

آن چه مشخص است قارچ میکوریزا در گیاه میزبان از طریق ایجاد یک یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای موجب تخلیه از حجم بیشتر خاک و جذب عناصر غذایی مثل فسفر را موجب می‌گردد (۴۶). به نظر می‌رسد در حضور قارچ میکوریزا، میسیلیوم‌ای قارچ با پراکنش زیادتر در اطراف ریشه سطح جذب بیشتری را بوجود آورده که گیاه را قادر می‌سازند آب جذب بیشتری را جذب کند (۱۸). از جمله ویژگی‌های مهم ریشه گندم که سبب می‌گردد میزان رطوبت کافی و عناصر غذایی جذب گرد می‌توان تراکم طول ریشه اشاره نمود

(۳۰). افزایش تراکم طول ریشه در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا روی گندم در سایر گزارش‌های محققین نیز آمده است (۱).

حجم مخصوص ریشه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر حجم مخصوص ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین حجم مخصوص ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین حجم مخصوص ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در حجم مخصوص ریشه گردید (شکل ۳).

در مطالعات مانسک و همکاران (۳۶) روی گندم نشان داده شد که قارچ میکوریزا از طریق هورمون‌های گیاهی سبب زیاد شدن رشد طولی و تراکم رشد ریشه شد.

تراکم بافت ریشه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر تراکم بافت ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین تراکم بافت ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین تراکم بافت ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۸۹/۹ درصدی در تراکم بافت ریشه گردید (جدول ۵). به طورکلی افزایش وزن خشک ریشه گیاه در اثر تلقیح با کودهای زیستی مشاهده شد اما این افزایش در حضور کودهای شیمیایی به دلیل تأمین بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تشدید گردید. بررسی‌های مختلف اثرات مثبت کاربرد کود زیستی را برشاخص‌های رشد ریشه را نشان داده‌اند (۲۰ و ۲۱). با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان چنین بیان کرد که در نتیجه همزیستی قارچ‌های میکوریزا با ریشه، رشد و سطح جذب ریشه افزایش یافته و ضمن افزایش جذب عناصر غذایی (به‌ویژه افزایش محتوی فسفر خاک)، موجب جذب بیشتر آب از مناطق دورتر از ریشه گردیده و موجبات عملکرد بیشتر گیاه را فراهم آورده است که این افزایش جذب آب و عناصر غذایی در تیمارهای تحت تیمار کود زیستی بیشتر بوده است.

به عبارت دیگر، در گیاهان میکوریزایی، مقدار تولید و عملکرد به ازای مقدار آب داده شده به گیاه، بیشتر بود. این اطلاعات نشان می‌دهد که قارچ میکوریزا سبب افزایش تحمل گیاه در شرایط دیم و احتمالاً از افت عملکرد به واسطه توسعه سیستم ریشه جلوگیری نموده‌است (۴۴).

چگالی سطح ریشه

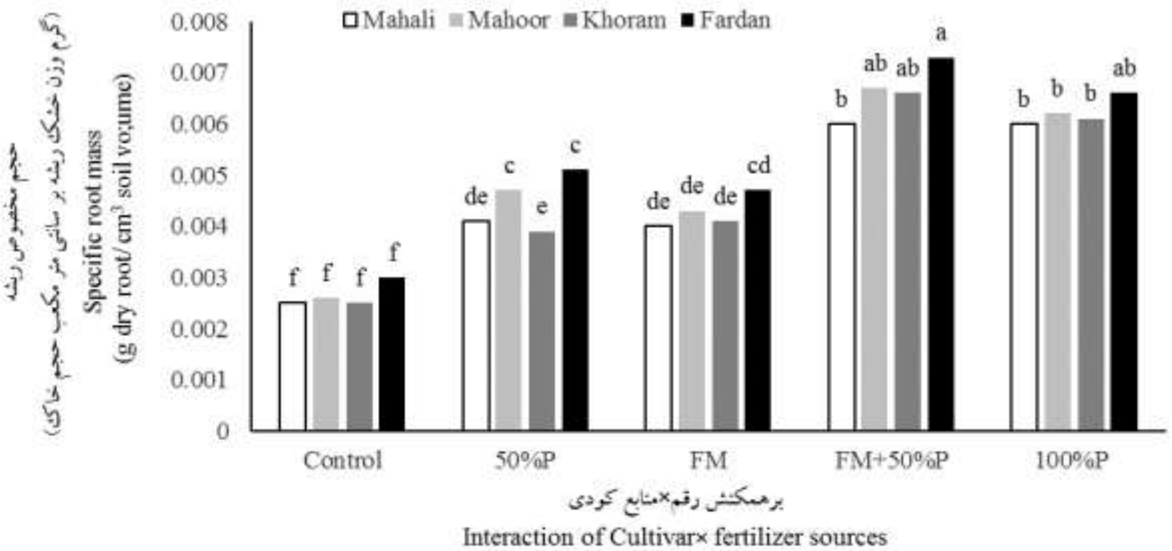
اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر چگالی سطح ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین چگالی سطح ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین چگالی سطح ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۰/۶ درصدی در چگالی سطح ریشه گردید (شکل ۴).

نتایج تحقیقات بر گیاه میکوریزی و غیرمیکوریزی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزی می‌باشد (۵۳). در این تحقیق، به نظر می‌رسد تلقیح قارچ میکوریزا با ریشه جو به واسطه زیاد کردن جذب آب و عناصر غذایی توانسته سبب زیادشدن رشد و عملکرد گردد. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که در شرایط کم‌آبی و گرما، گیاه برای تأمین رطوبت مورد نیاز خود و جذب آب از مناطق دورتر ریشه، طول ریشه خود را افزایش می‌دهد. در واقع قارچ‌های میکوریزا به جو از طریق گسترش طول و افزایش سطح جذب ریشه، موجبات جذب آب و عناصر غذایی بیشتر برای گیاه را فراهم آورده است (۴۳).

قارچ میکوریزا با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (۶۰). در پژوهش‌های ناصری و همکاران (۴۳) نیز مشاهده شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش سیستم ریشه در ارقام مختلف گندم گردد به طوری‌که در تیمار قارچ میکوریزا توانست چگالی سطح ریشه را ۶۰/۸ درصد افزایش داد. در بررسی چگالی سطح ریشه گندم، نتایج نشان داد که تلقیح بذور قارچ میکوریزا توانست چگالی سطح ریشه را ۲۰ درصد افزایش دهد (۲۶).

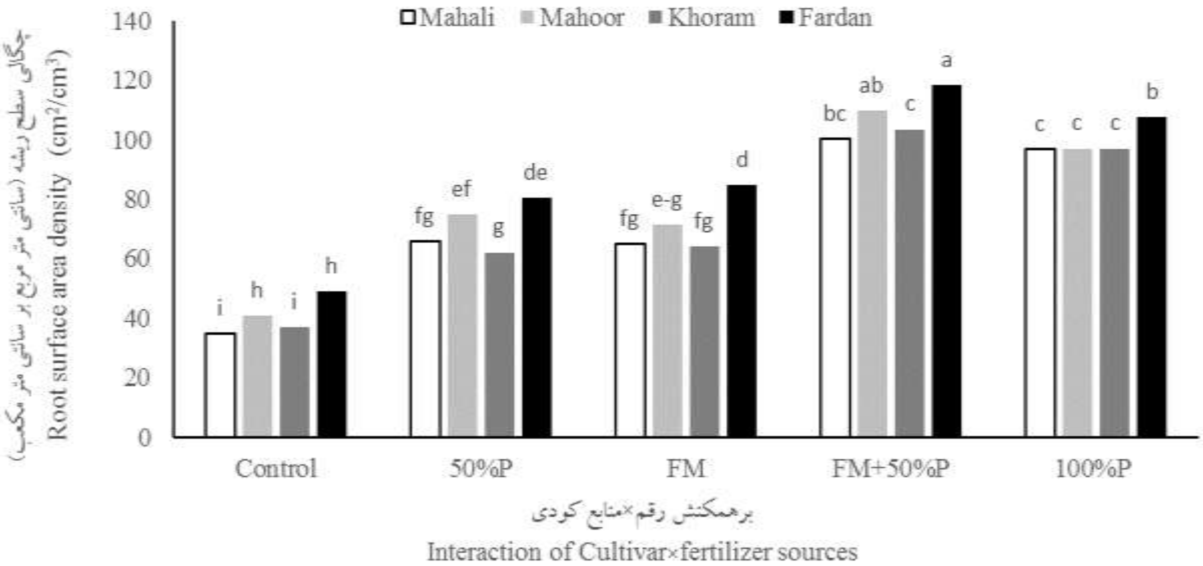
عملکرد دانه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان عملکرد دانه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۹/۳ درصدی در سرعت فتوسنتز گردید (جدول ۵).



شکل ۳- برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم مخصوصریشه

Figure 3- Interaction of cultivar×fertilizer sources on specific root mass



شکل ۴- برهمکنش رقم×منابع کودی بر چگالی سطح ریشه

Figure 4- Interaction of cultivar×fertilizer sources on root surface area density

در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده قارچ میکوریزا در تمامی ارقام جو سبب افزایش عملکرد دانه گردید، بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا در ارقام مختلف جو را می‌توان به افزایش جذب مواد معدنی توسط افزایش سیستم ریشه مثل طول ریشه (شکل ۱)، حجم ریشه (شکل ۲)، سطح ریشه (جدول ۵)، تراکم طول ریشه (جدول ۵) و چگالی سطح ریشه (شکل ۴) جو با قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه شد.

قارچ میکوریزا میزان تولید هورمون‌های رشدی (جیبرلین، اکسین و سیتوکینین) افزایش داده که از این طریق رشد و نمو بهتر و در نهایت تولید عملکرد دانه بیشتر خواهد شد (۶۴). سادات و همکاران (۵۲) در آزمایش‌های خود بر گندم نشان دادند استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. نتایج این بررسی، نقش سودمند قارچ میکوریزا را به ویژه در کاهش خسارت انتهایی فصل در شرایط دیم را تأیید کرد. آنچه مشخص است قارچ میکوریزا از طریق

کلونیزه کرده و افزایش سطح تماس با خاک بـه منظـور کسـب آب و مواد غذایی که منتج به تولید عملکرد دانه بیشتری می‌گردد (۲۳).

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد کـه اسـتفاده از قـارچ میکوریزا سبب افزایش سیستم ریشه و تغییرات مورفولوژیکی ریشه در ارقام جدید جو گردید. آنچه مشخص است و در گـزارش‌هـای سـایر محققین نیز به آن اشاره شده است قارچ میکـوریزا بـا ایجـاد سیسـتم ریشه‌دهی قوی در گیاه میزبان در محیط ریزوسفر مـی‌توانـد حـداکثر استفاده را در جهت بهره‌برداری رطوبت و جذب عناصر غذایی کسـب نماید. در پژوهش اخیر نشان داده شد که رقم فردان در حضـور قـارچ میکوریزا، دارای حداکثر طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشـه، تـراکم طول ریشه، تراکم بافت ریشه و در نهایت چگالی سطح ریشـه بـود و زمانی که هیچ منبع کودی استفاده نشد در تمامی ارقام کاهش زیادی در سیستم ریشه‌دهی مشاهده شد. بنابراین در بین ارقام مورد اسـتفاده رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصـد کـود شـیمیایی فسفر می‌تواند موجـب توسـعه سیسـتم ریشـه‌ای و در نهایـت سـبب افزایش عملکرد دانه در منطقه تحت شرایط دیم گردد.

منابع

1- Abdel-Fattah G.M., Ibrahim A.H., Al-Amri S.M., and Shoker A.E. 2013. Synergistic effect of arbuscular mycorrhizal fungi and spermine on amelioration of salinity stress of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Gimiza). Australian Journal of Crop Science 7: 1525–1532.

2- Abrishamchi P., Ganjeali A., and Sakeni H. 2012. Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 3(2): 17-30. (In Persian with English abstract.

3- Akhavan S., Shabanpour M., and Esfahani M. 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. Journal of Water and Soil 26(1): 725-735.

4- Amerian M., Yousefsani M., and Koocheki A. 2014. Effects inoculation of mycorhizae species and irrigation levels impacts on growth criteria, yield and water use efficiency of corb (*Zea mays* L.). Agroecology 6(1): 152-161. (In Persian with English abstract)

5- Auge R.M., Duan X., Ebel R.C., and W. Stodola A.J. 2001. Nonhydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. Planta 193: 74-82.

6- Azarnia M., Safikhani S., and Biabani A. 2015. The effect of Bio-Fertilizer on Crops yield, sustainable agriculture and organic farming. Journal of Biosafety 8(2): 85-97. (In Persian with English abstract)

7- Banerjee M., Yesmin R.L., and Vessey J.L. 2006. Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. pp. 137-181. In: Handbook of microbial biofertilizers. Ed., Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A.

8- Bauhus J., and Messier C. 1999. Evaluation of Fine Root Length and Diameter Measurements Obtained Using RHIZO Image Analysis. Agronomy Journal 91: 142–147.

9- Bhat M.I., Bangroo S.A., Tahir A., Yadav S.R.S., and Aziz M.A. 2011. Combined effects of rhizobium and vesicular arbuscular fungi on green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek) under temperate conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2(1): 17-20.

10- Boris L., Tomáš L., and Ahmad M.M. 2018. Arbuscular mycorrhizae modify winter wheat root morphologyand alleviate phosphorus deficit stress. Plant Soil Environment 64(1):47-52.

11- Campos P., Borie F., Cornejo P., López-Ráez J.A., López-García Á., and Seguel A. 2018. Phosphorus acquisition efficiency related to root traits: Is mycorrhizal symbiosis a key factor to wheat and barley cropping? Frontiers in Plant Science 9: 1-21.

12- Davies J.R., Olalde-Portugal L., Agvilera-Gomez M.J., Alvarao R.C., Ferrera-cerrato T., and Boutton W. 2002. Alleviation of drought stress of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. CV. Sanluis) with Arbuscular mycorrhiza indi gennus to mexico. Scientia Horticulturoe 92: 342-359.

13- Ebadi N., Sseyed Sharifiand R., and Sedg M. 2019. Effects of biofertilizers on yield and some biochemical and physiological traits of Sahand barley cultivar under rainfed and supplementary irrigation. Environmental stresses in Crop Science 12(2): 1141-1150. (In Persian with English abstract)

14- Esmaielpour B., and Amani N. 2014. Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in *lactuca sativa* cv Syaho. Journal of Soil Management and Sustainable Production 4(2): 49-68. (In Persian with English abstract)

15- Feiziasl V., Fotovat A., Astaraeiand A., and Lakzyan A. 2014. Effects of nitrogen fertilizer rates and application time on root characteristics of dryland wheat genotypes. Iranain Journal of Dryland Agriculture 3(1): 41-94. (In Persian with English abstract)

16- Ganjeali A., and Kafi M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot

characteristics chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Botany 39(5): 1523-1531.
17- Ganjeali A., Kafi M., and Sabet Teimouri M. 2010. Variations of root and shoot physiological indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 3(1): 35-45. (In Persian with English abstract)
18- Ghabouli M., Shahriary F., Sepehrin M., Marashi H., and Hosseini Salekdeh G. 2011. An evaluation of the impact of the endophyte fungus Piriformospora indica on some traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in drought stress. Journal of Agroecology 3(3): 328-336. (In Persian with English abstract)
19- Hajabbasi M.A. 2001. Tillage Effects on Soil Compactness and Wheat Root Morphology. Journal of Agricultural Science and Technology 3*:* 67-77.
20- Hamidi A., Asgharzadeh A., Choukan R., Dehghan Shoar M., Ghlavand A., and Malakouti M.J. 2010. Effects of PGPR application on dry matter partitioning and some growth characterstices of maize (*Zea mays* L.) hybrids under greenhouse conditions. Iranian Journal of Soil Science 24(1): 55-67. (In Persian with English abstract)
21- Hamidi A., Chaokan R., Asgharzadeh A., Dehghanshoar M., Ghalavand A., and Malakouti M.J. 2009. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phenology of late maturity maize (*Zea mays* L.) hybrids. Iranian Journal of Crop Sciences 11(3): 249-270. (In Persian with English abstract)
22- Hasanabadi T., Ardakani M.R., Rejali F., Paknejad F., Eftekhari S.A., and Zargari K. 2010. Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas flouresence* under different levels of nitrogen. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 9(2): 156-162.
23- Hassanpour J., and Zand B. 2014. Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. Iranian Journal of Seed Sciences and Research 1(2): 1-12. (In Persian with English abstract)
24- Huang B.R., Taylor H.M., and Mcmichael B.L. 1991. Growth and development of seminal and crown roots of wheat seedlings as affected by temperature. Environmental and Experimental Botany 31(4)*:* 471-477.
25- James B., Rodel D., Lorettu U., Reynaldo E., and Tariq H. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna Spectabilis. Pakistan Journal of Botany 40(5): 2217-2224.
26- Jiriaie M., Fateh E., and Aynehband A. 2014. The consequences of single and integrated application of Mycorrhiza and *Azospirillum* inoculants on yield and yield components of warm region wheat cultivars (*Triticum* spp.). Journal of Agroecology 16(3): 520-528. (In Persian with English abstract)
27- Khalvati M.A., Mozafar A., and Schmidhalter V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7(6): 706-712.
28- Khazaei H.R., Riahinia Sh., and Eshghizadeh H.R. 2014. Effect of Water Stress on Root Distribution and Extension of Different Triticale Genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 12(3): 417-426. (In Persian with English abstract)
29- King J., Gay A., Sylvester-Bradley R., Bingham I., Foulkes J., Gregory P., and Robinson D. 2003. Modeling cereal root systems for water and nitrogen capture: Towards an economic optimum. Annals of Botany 91: 383–390.
30- Lovelli S., Pernio M., Di Tommaso T., Biochicchio R., and Amato M. 2012. Specific root length and diameter of hydroponically-grown tomato plants under salinity. Journal of Agronomy 11(4): 101-106.
31- Lucy M., Reed E., and Glick B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leewenhoek 86: 1-25.
32- Mahanta D., Rai R.K.b., Mishra S.D., Raja A., Purakayastha T.J., and Varghese E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research 166: 1–9.
33- Manafi H., Aliasgharzad N., Neyshabouri M.R., and Rejali F. 2010. Tolerance to Water Deficit Stress in Tomato Inoculated with *Arbuscular mycorrhizal* Fungi. Journal Water and Soil Science 22(2): 1-16. (In Persian with English abstract)
34- Mandal K.G., Hati K.M., Misra A.K., Ghosh P.K., and Bandyopadhyay K.K. 2003. Root Density and Water Use Efficiency of Wheat as Affected by Irrigation and nutrient management. Journal of Agricultural Physics 3(1 & 2): 49-55.
35- Manoharan P., Pandi M., Shanmugaiah V., Gomathinayagam S., and Balasubramanian N. 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungus on the physiology and biochemical changes of five different tree seedlings grown under nursery conditions. African Journal of Biotechnology 7(19): 3431-3436.
36- Manske G.G.B., Luttger A.B., Behl R.K., and Vlek P.L.G. 1995. Nutrient efficiency based on VA mycorrhiza (VAM) and total root length of wheat cultivars grown in India. Journal of Applied Botany 69: 108-110.
37- Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F., Malakouti M.J., and Torabi H. 2007. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on corn (*Zea mays* L.) growth. Soil Biol Biochem 39: 2014–2026.
38- Mohammad M.J., Pan W.L., and Kennedy A.C. 1991. Wheat responses to vesicular and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation of soil from eroded to consequence. Soil Science Society of America Journal 59: 1086-1099.

39- Musters P.A.D., and Bouten W. 2000. A method for identifying optimum strategies of measuring soil water contents for calibrating a root mater uptake model. Journal of Hydrology 227: 273-286.
40- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2016. Studying Morphological Characteristics of Seminal and Adventitious Root Systems of Durum and Bread Wheat Cultivars. Journal of Crop Ecophysiology 10 (2): 477-492. (In Persian with English abstract)
41- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2017. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root charactrestics, some activities of antioxidative enzymes of wheat under dry land conditions. Applied Research of Plant Ecophysiology 5(1): 163-188. (In Persian with English abstract)
42- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2019a. Wheat- Root System Influenced by Application of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi under Different Levels of Phosphorous Chemical Fertilizer. Journal of Sol Biology 6(2): 137-155.
43- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2019b. Evaluation of root and grain yield of wheat cultivars affected by phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi under dry land conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 17(1): 83-98. (In Persian with English abstract)
44- Naseri R. 2017. Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi on Morpho-Physiological Traits and yield of Two Wheat Cultivars under Dryland Farming. P.hD. THESIS. Faculty of Agriculture, Ilam University 356 Pp. (In Persian with English abstract)
45- Padmavathi T., Dikshit R., and Seshagiri S. 2016. Influence of rhizophagus spp. and burkholderia seminalison the growth of tomato (*Lycopersicon esculatum*) and bell pepper (*Capsicum annuum*) under drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis 47: 1975–1984.
46- Paras-Motlagh B., Mahmoodi S., Sayyar-Zahan M.H., and Naghibzadeh M. 2011. Effect of mycorrhiza fungi and phosorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*haseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Journal of Agroecology 3(2): 233-244. (In Persian with English abstract)
47- Pardo A., Amato M., and Chiaranda F.Q. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. European Journal of Agronomy 13: 39-45.
48- Paul A. 2007. Soil Microbiology. Ecology and Biochemistry 514p.
49- Paula P., and Pausas J.G. 2011. Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories. Oecologia 165: 321–331.
50- Rahim Zadeh S., Sohrabi Y., Heidar Gh.R., Eivazi A.R., Hosseni S.MT., and Taher Hosseini M. 2013. Effect of biofertilizer on macro and micro nutrients uptake and essential oil continent in (*Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research 11(1): 179-190. (In Persian with English abstract)
51- Russo A., Felici C., Toffanin A., Gotz M., Collados C., and Barea J.M. 2005. Effect of Azospirillum inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. Journal of Biology and Fertility of Soils 41: 301–309.
52- Sadat A., Savaghebi Gh., Rejali F., Farahbakhsh M., Khavazi K., and Shirmardi M. 2010. Effects of some Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. Journal of Water and Soil 24(1): 53-62. (In Persian with English abstract)
53- Sajedi N., and Rejali F. 2011. Effect of drought stress, Zinc application and Mycorrhiza inoculation on uptake micro nutrients in maize. Iranian Journal of Soil Research 25(2): 83-92 (In Persian with English abstract)
54- Salehi F., Moradi Ghahderijani M., Mirabol Fathy M., and Ali Asghar Zadeh N. 2008. Influence of mycorrhizal fungi (VA) inoculation and different levels of phosphorus on vegetative features of pistachio seedling and uptake of P, K, Ca, Mg and Zn. Pajouhesh & Sazandegi 78: 48-56. (In Persian with English abstract)
55- Schafer P., Pfiffi S., Voll L.M., Zajic D., Chandler P.M., Waller F., Scholz U., Pons-Kuhnemann J., Sonnewald S., Sonnewald U., and Kogel K.H. 2009. Manipulation of plant innate immunity and gibberellin as factor of compatibility in the mutualistic association of barley roots with *Piriformospora indica*. The Plant Journal 59: 461-474.
56- Schenk M.K., and Barber S.A. 1979. Root Characteristics of Corn Genotypes as Related to P Uptake. Agronomy Journal 71: 921-927.
57- Sendek A., Karakoç C., Wagg C., Domínguez-BeginesJ., Martucci do Couto G., Heijden M.G.A., Ahmad A., Lochner A., Chatzinotas A., Klotz S., Gómez-Aparicio L., and Eisenhauer N. 2019. Drought modulates interactions between arbuscular mycorrhizal fungal diversity and barley genotype diversity. Scientific Reports 1-15.
58- Shaban M., Mansourifar S., Ghobadi M., and Ashrafi Parchin R. 2012. Effect of Drought Stress and Starter Nitrogen Fertilizer on Root Characteristics and Seed Yield of Four Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes. Seed and Plant Production Journal 27(4): 451-470. (In Persian with English abstract)
59- Shaharoona B., Naveed M., Arshad M., and Zahir Z.A. 2008. Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Microbial Biotechnology 79:

147-155.
60- Sharma A.K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1sd edition. Jodhpur: agrobios, Indian, 456p.
61- Singh G., Sekhon H.S., and Kolar J.S. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy. Udaipur, India, 329 pp.
62- Smith S.E., and Read D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis 2nd Edition. Academic Press. USA 803 pp.
63- Smith S.E., Jakobsen I., Grønlund M., and Smith F.A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understating and manipulating plant phosphorus acquisition. Plant Physiology 156:1050–1057.
64- Sohrabi Y., Weisany W., Heidari Gh., Mohammadi Kh., and Ghasemi Golezani K. 2019. Effects of mycorrhiza fungi species application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Environmental stresses in Crop Science 12(2): 507-524. (In Persian with English abstract)
65- Subramanian K., Santhanakrishnan P., and Balasubramanian P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulture 107: 245–253.
66- Subramanian K.S., Bharathi C., and Jegan A. 2008. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. Biology and Fertility of Soils 45:133–144.
67- Tasang A., and Maum M.A. 1992. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. Plant Ecology 144: 159–166.
68- Vessey J.K., and Buss T.J. 2002. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation and Naccumulation in grain Iegumes. Controlled-environment studies. Canadian Journal of Plant Science 82: 282-290.
69- Wei Chen Y., Panpan Meng Y., Feng H., and Wang C. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on Growth and physiological performance of catalpa bungei C.A.Mey. under drought stress. Forests 11: 1-29.
70- Yaghoubian Y., Pirdashti H., Mohammadi Goltapeh E., Feiziasl V., and Esfandiari E. 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar 2) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. Journal of Agroecology 4(1): 63-73. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 267-284

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۸۴-۲۶۷

Root System of Different Barley Cultivars Influenced by Applications of Different Fertilizer Sources under Dryland Farming

R. Naseri[1*]- A. Mirzeai[2]– A. Abbasi[3]
Received: 12-10-2020
Accepted: 09-03-2021

Introduction: Biofertilizers play a crucial role in soil fertility by dissolving stabilized phosphates and producing the nutrients needed for plant growth in the soil. One of the most important soil microorganisms is mycorrhizal fungi. Mycorrhizal fungi, with their extensive hyphae network and increasing the level and speed of root uptake, increases the plant efficiency in nutrients, especially inactive elements such as phosphorus, and improves plant growth. Mycorrhiza fungi increase nutrient uptake of plants due to stimulation of root formation and subsequent increase in root level through the production of auxin and gibberellin hormones. By extending the root system, mycorrhizal fungi increase the total absorption surface of inoculated plants and thus improves crop plant access to water absorption. Considering the important and critical role of roots in crops, having sufficient information and understanding the morphological characteristics of the root system is important. Therefore, this study was conducted to investigate the role of the root system in the presence of mycorrhizal fungi in new barley cultivars in the Ilam region in rainfed conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of inoculation with mycorrhiza fungi on the root system of barley cultivars in rainfed conditions, a factorial field experiment was carried out based on a randomized complete block design with three replications in the farm station of Sarablah Agricultural Research Center during 2019-2020 cropping season. Experimental treatments were including barley cultivars (Mahali, Mahour, Khorram, and Fardan) and fertilizer sources treatment including control (without fertilizer), 50% P fertilizer, mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum*, and *Rhizophagus irregularis*), mycorrhizal fungi+50% P chemical fertilizer and 100% P chemical fertilizer. Root-related characteristics were measured inside the field at the pollination stage using a metal cylinder with dimensions of 30 cm in length and 2 cm in width, which had been pre-designed by hand. To measure grain yield after removing the marginal effects (50 cm from the beginning and end) were recorded for each plot. Statistical analysis of the data of this research project was done by SAS software, means were compared by Duncan's multiple range test method, and graphs were prepared by Excel software

Results and Discussion: This study showed that the interaction between cultivar× fertilizer sources was significant on the characteristics of rainfed barley roots. So that the maximum root length (76.6%), root volume (75.7%), root area (73.3%), root length density (76.8%), root tissue density (89.9%), root-specific mass (65.7%), and root surface area density (70.6%) was obtained from Fardan cultivar×mycorrhizal fungi+50% P chemical fertilizer compared to control treatment (without fertilizer source). It seems that the presence of mycorrhizal fungi has caused changes in root morphology so that the spread of mycorrhizal mycelium related to the internal tissues of the root has increased root length.

Conclusion: The results of this study showed that the use of mycorrhizal fungi increased root system and root morphological changes in new barley cultivars. What is clear and has been mentioned in the reports of other researchers is that the mycorrhizal fungi can gain maximum use of moisture and nutrient uptake by creating a strong rooting system in the host plant from the rhizosphere. Recent research has shown that Fardan cultivar in the presence of mycorrhiza fungi had maximum root length, root volume, root area, root length density, root tissue density, and finally, root surface area density, and when no fertilizer source was used, a large reduction in

1- Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran
(*- Corresponding Author Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
3- Department of Plant Production and Genetics., Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2021.15046.0

the rooting system was observed in all cultivars. Therefore, among the cultivars used, Fardan cultivar with co-consumption of mycorrhizal fungi and 50% of P fertilizer can cause the development of root system and ultimately increase grain yield in the region under dryland conditions.

Keywords: Root diameter, Root length density, Root-specific mass, Root surface area density, Root tissue density